

13. Isaacs T. I. Determination of the crystal symmetry of the polymorphs of thallium indium disulphide,  $\text{TlInS}_2$  / T. I. Isaacs // *Z. Crystallography*. – 1975. – Vol. 141, №1–2. – P. 104–108.
14. Zamurueva O. V. Structural and optical features of novel  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  chalcogenide crystals / O. V. Zamurueva, G. L. Myronchuk, G. Lakshminarayana, O. V. Parasyuk, L. V. Piskach, A. O. Fedorchuk, N. S. Al-Zayed, A. M. El-Naggar, I. V. Kityk // *Optical Materials* 37 (2014) – P. 614–620.
15. Urbach F. The Long-Wavelength Edge of Photographic Sensitivity and of the Electronic Absorption of Solids / F. Urbach // *Physical Review*. – 1953. – Vol. 92. – P. 1324–1325.

**Китык Иван, Мирончук Галина, Данильчук Сергей, Пискач Людмила, Мозолюк Мария, Божко Владимир.** Получение и электрические свойства твердых растворов  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  ( $x=0-0,5$ ). Разработаны технологические условия выращивания монокристаллов твердых растворов  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  ( $x=0-0,5$ ). Рентгеновским методом порошка расшифрована кристаллическая структура сплавов и предложен механизм образования твердого раствора. Исследована температурная зависимость удельной темновой электропроводности, определены энергии активации проводимости.

**Ключевые слова:** энергия активации, прыжковая проводимость, локализованных состояния.

**Kityk Ivan, Myronchuk Galyna, Danylchuk Sergiy, Piskach Ludmyla, Mozolyuk Mariya, Bojko Volodymyr.** Preparation and Electric Properties of Solid Solutions  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  ( $x=0-0,5$ ). The technological conditions for growth of solid solutions  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  ( $x=0-0,5$ ) single crystals have been developed. The crystal structure of the alloy has been solved by X ray diffraction powder method, the mechanism of the solid solution formation is proposed. The temperature dependence of the specific electrical dark conductivity and the activation energy of conductivity have been determined.

**Key words:** activation energy, hopping conductivity, localized states.

Стаття надійшла до редколегії  
08. 04. 2015 р.

УДК 621. 315. 592

**Іван Кітик  
Галина Мирончук  
Оксана Замуруєва  
Олег Парасюк  
Олександр Мартинюк**

### Дослідження спектрального розподілу коефіцієнта поглинання монокристалу $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$ ( $x=0,1; 0,2$ )

За дослідженнями спектрального розподілу коефіцієнта поглинання оцінено ширину забороненої зони при непрямих і прямих дозволених переходах. Обчислено термічний коефіцієнт зміни ширини забороненої зони, енергію Урбаха й параметр крутизни спектрів оптичного поглинання за температур 100 ÷ 300 К для твердих розчинів  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  з вмістом ( $x=0,1; x=0,2$ ).

**Ключові слова:** коефіцієнт поглинання, параметр крутизни, енергія Урбаха.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Останнім часом у фізиці напівпровідників спостерігається посилений інтерес до кристалічних матеріалів, які проявляють яскраво виражені анізотропні властивості. До таких матеріалів належать, зокрема, шаруваті сполуки класу  $A^3B^3C^6$ . Монокристали напівпровідникових сполук типу  $A^III B^III C^VI$  і твердих розчинів на їх основі – перспективні матеріали для створення різних функціональних елементів мікро- й оптоелектроніки. Крім того, дослідження впливу безперервного заміщення складу твердих розчинів на їх фотоелектричні й оптичні властивості може дати цінну інформацію про природу та спектр енергетичних рівнів, локалізованих у забороненій зоні досліджуваного напівпровідника [2; 15–17].

Серед цього типу кристалів найбільш докладно вивчені оптичні, фотоелектричні й електрофізичні характеристики кристалів  $\text{TlInSe}_2$  [3; 5]. Вони перспективні для створення на їх основі детекторів і приймачів випромінювання, а також функціональних пристроїв, керованих електричним полем, що працюють в умовах жорсткої радіації [18].

© Кітик І., Мирончук Г., Замуруєва О., Парасюк О., Мартинюк О., 2015

**Формування мети та завдання статті:** Мета статті – експериментально дослідити оптичне поглинання світла системи  $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  ( $x = 0,1; 0,2$ ).

**Завдання статті** – дослідити ширину забороненої зони сполуки під час прямих і непрямих дозволених переходах, залежність коефіцієнта оптичного поглинання від температури.

**Методика й техніка фізичного експерименту** Зразки для досліджень були отримані шляхом природнього сколу від масивних монокристалів і мали товщину  $\sim 70\text{--}80$  мкм. Оптичні дослідження проводили в діапазоні температур  $77\text{--}300$  К, що забезпечувалось азотним кріостатом із системою стабілізації температури Utrecs K 41-3. Як спектрограф використовувався монохроматор МДР – 208 із кремнієвим фотоприймачем.

**Виклад основного матеріалу й обговорення отриманих результатів дослідження.** Спектри коефіцієнта поглинання були отримані із експериментальних величин поглинання за різних температур за формулою [12]

$$T = \frac{(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1-R^2 e^{-2\alpha d}}, \quad (1),$$

де  $T = I/I_0$  – коефіцієнт пропускання;  $d$  – товщина зразка;  $R$  – коефіцієнт відбивання.

Спектральний розподіл коефіцієнта поглинання монокристалу  $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  ( $x=0,1; 0,2$ ) представлено на рис. 1.

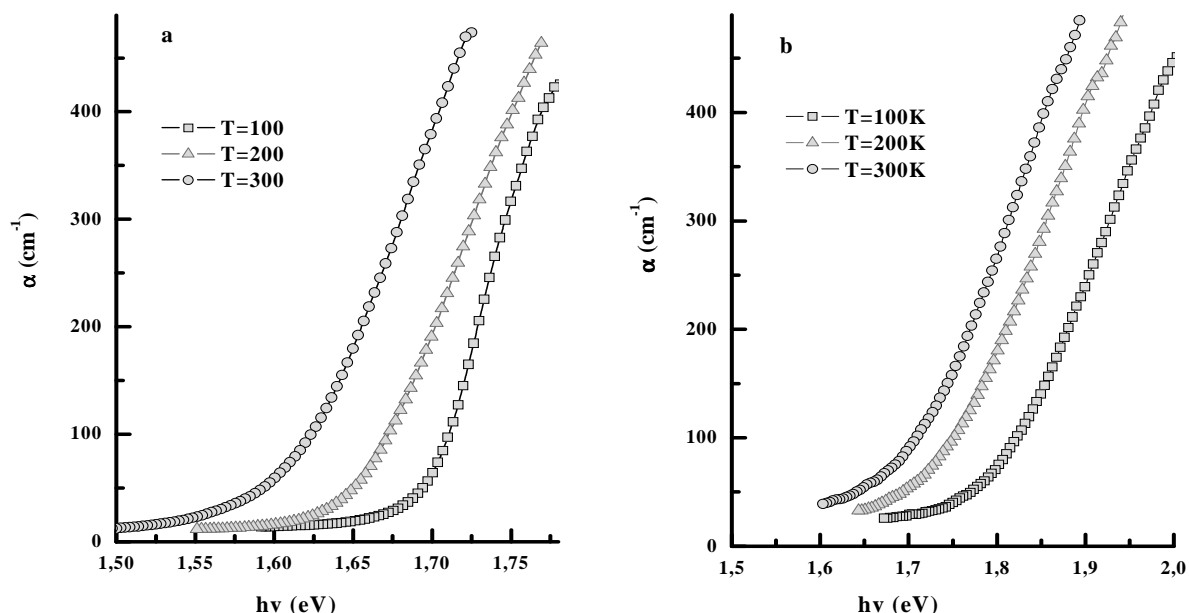


Рис. 1. Спектральна залежність коефіцієнта поглинання світла для  $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  (а –  $x=0,1$ ; б –  $x=0,2$ ) за різних температур

Аналіз експериментальних результатів показує, що спектри поглинання описують за формулою (2), де  $n=1/2$  і 2:

$$\alpha \hbar \omega = B (\hbar \omega - E_g)^n \quad (2),$$

$\alpha \hbar \omega$  – коефіцієнт поглинання кутової частоти  $\omega = 2\pi\nu$ ;  $B$  – стала;  $n$  – індекс, який має значення  $1/2$ ;  $3/2$ ;  $2$ ;  $3$  залежно від електронного переходу, для поглинання з  $n=1/2$  – прямий дозволений перехід;  $n=3/2$  – заборонений прямий перехід,  $n=2$  – непрямий дозволений перехід,  $n=3$  – заборонений непрямий перехід [1].

Для оцінювання ширини забороненої зони під час непрямих ( $E_{gi}$ ) і прямих ( $E_{gd}$ ) дозволених переходах прямі  $(\alpha \hbar \nu)^{1/2} = f(\hbar \nu)$  та  $(\alpha \hbar \nu)^2 = f(\hbar \nu)$  екстраполювалися до  $(\alpha \hbar \nu)^{1/2} = 0$  та  $(\alpha \hbar \nu)^2 = 0$  (рис. 3 а – д).

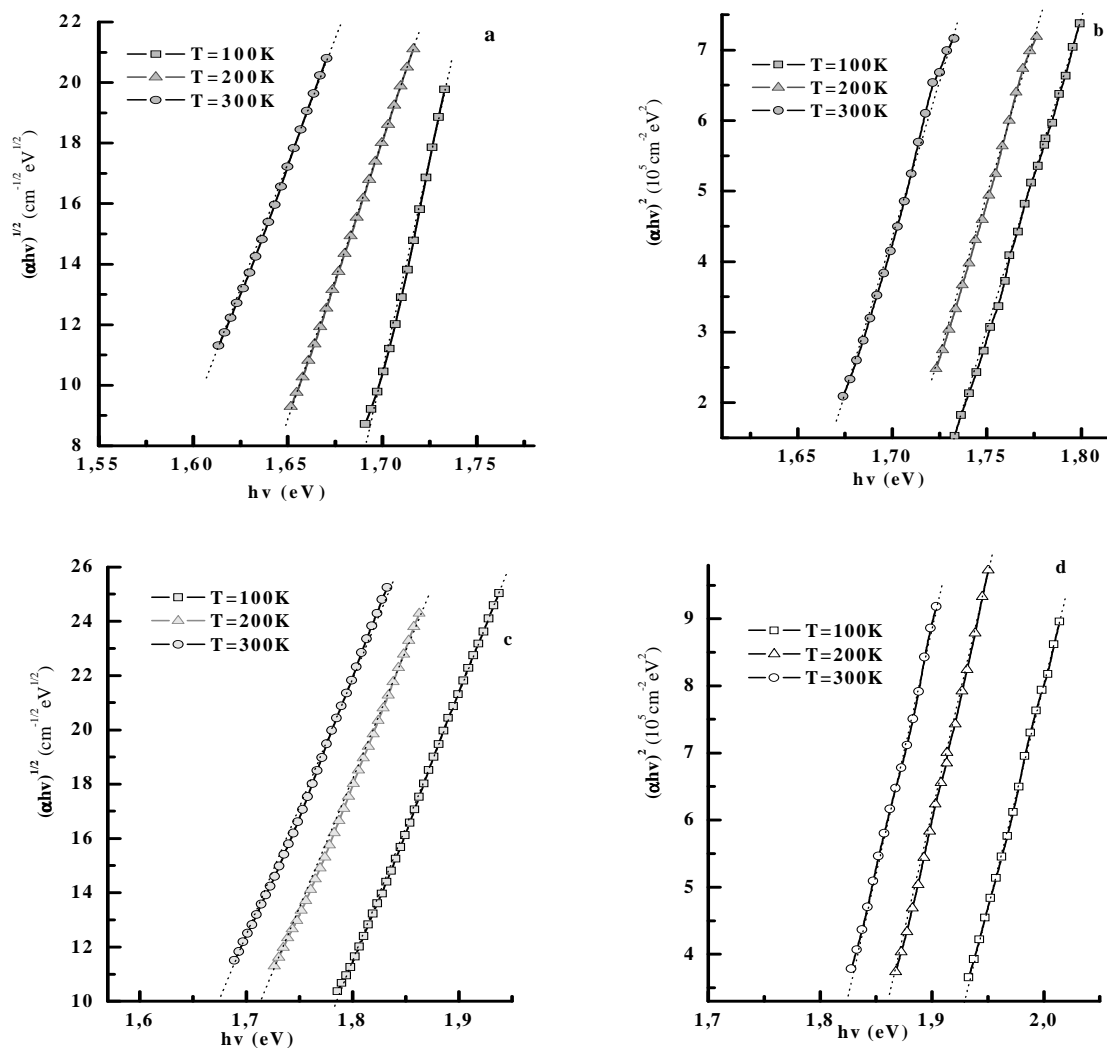


Рис. 3. Спектральна залежність  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  (а, с) і  $(\alpha h\nu)^2$  (b, d) для кристалів  $\text{TI}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  ( $x=0,1$ : а, b), ( $x=0,2$ : с, d) за різних температур

Результати проведеного оцінювання в температурному інтервалі 100–300 К для кристалів  $\text{TI}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  ( $x=0,1; 0,2$ ) представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Ширина забороненої зони при прямих ( $E_{gd}$ ) і непрямих ( $E_{gi}$ ) переходах, енергія Урбаха, параметр крутизни для кристалів  $\text{TI}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  за різних температур

Зразок	Температура зразка (К)	$E_{gd}$ , eВ	$E_{gi}$ , eВ	Енергія Урбаха (meВ)	Параметр крутизни
$x=0,1$	100	1,72	1,67	33	0,261
	200	1,70	1,61	39	0,442
	300	1,66	1,56	50	0,517
$x=0,2$	100	1,88	1,69	76	0,113
	200	1,82	1,62	79	0,218
	300	1,77	1,58	82	0,315

Збільшення вмісту  $\text{GeSe}_2$  у твердих розчинах сприяє збільшенню ширини забороненої зони і для непрямих, і для прямих оптичних переходів аналогічно описаних у [16; 17]. Зростання енергетичної щільності можна пояснити так. Виходячи з результатів рентгеноструктурного аналізу, збільшення  $x$  для

досліджуваної системи призводить до двох процесів: статичного заміщення атомів Ge атомами In і збільшення концентрації вакансій талію ( $V_{TI}$ ). Можна вважати, що ці процеси – домінуючі фактори у варіаціях енергії забороненої зони. Статична заміна Ge на In формує донорські центри з їх збільшеною концентрацією  $x$ , це частково зумовлено різними поляризованостями цих іонів на відповідні катіонні заміщення [13]. Формування позитивно заряджених іонів (донорів) і негативно заряджених іонів ( $V_{TI}$  акцепторів) призводить до збільшення степені іонності з'єднання. Збільшення зв'язуючої енергії між атомами для з'єднання призводить до збільшення  $E_g$ .

Очевидно, що ширина забороненої зони під час прямих і непрямих переходів зменшується з ростом температури. Ширина забороненої зони для непрямих оптичних переходів в  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x = 0,1; 0,2$ ) менша, ніж для прямих оптичних переходів. Ця зміна типова для кристалів із шаруватою структурою [9]. Було встановлено, що температурні коефіцієнти прямих і непрямих заборонених зон у  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  мають від'ємні знаки, а це дає змогу припустити, що внесок електрон-фононної взаємодії більший, ніж вклад теплового розширення решітки. Температурні коефіцієнти як для  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x=0,1$ ) ( $dE_{gd}/dT=-3 \cdot 10^{-4}$  eV/K,  $dE_{gi}/dT=-5 \cdot 10^{-4}$  eV/K), так і для  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x=0,2$ ) ( $dE_{gd}/dT=-5.5 \cdot 10^{-4}$  eV/K,  $dE_{gi}/dT=-5.5 \cdot 10^{-4}$  eV/K). Ці результати узгоджуються з дослідженнями [4; 7; 10; 19].

Зміна  $\ln(\alpha)$  з енергією фотонів поблизу краю поглинання показана на рис. 4 за різних температур.

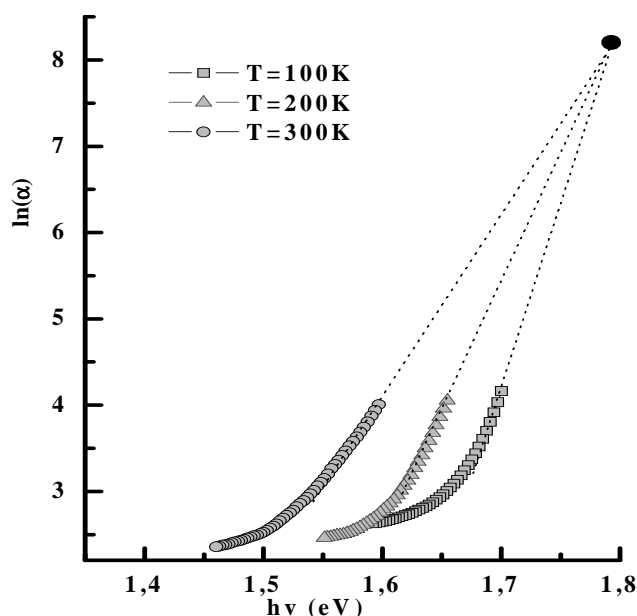


Рис. 4. Логарифмічна спектральна залежність коефіцієнта поглинання кристалів  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  для  $x = 0,1$

Після екстраполяції всі криві сходяться в точці, якій відповідає  $\alpha_0 = 4000\text{см}^{-1}$ , визначене при цьому значення  $E_g(0)$  виявилось рівним  $\sim 1,83$  eV і  $5000\text{ см}^{-1}$ , 2,12 eV для зразків  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x=0,1$  і  $x = 0,2$ ), – відповідно. Ці результати показують, що спектри поглинання всіх зразків підпорядковуються правилу Урбаха. Усі точки перетинають одну й ту саму точку  $(E_0, \alpha_0)$  на рис. 4 (аналогічно для  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  з вмістом  $x=0,2$ ). Отримані результати показують, що нижче ділянки сильного поглинання залежність  $\ln(\alpha)$  від  $hv$  підпорядковується правилу Урбаха і тим самим підтверджує існування «хвоста Урбаха-Мартіссена»

На рис. 5 показано енергію Урбаха (кВТ/σ), яка відповідає оберненому нахилу «хвостів Урбаха» зразків  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  залежно від температури. На рис. 6 показані параметри крутизни (σ) зразків  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  в залежності від температури. І енергія Урбаха, і параметри крутизни зростають зі збільшенням температури. Оцінені параметри наведено в табл. 1.

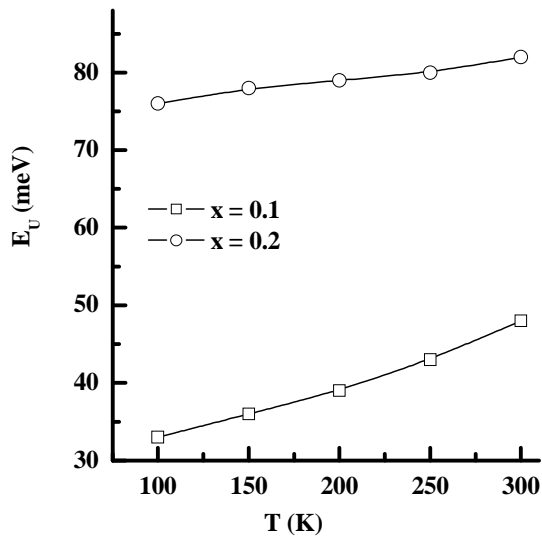


Рис. 5. Енергія Урбаха як функція температури для  $Tl_{1-x}In_xGe_xSe_2$

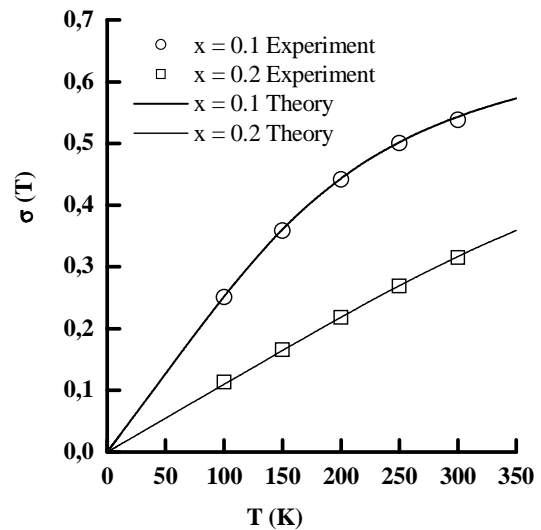


Рис. 6. Параметр крутизни  $\sigma$  як функція температури для  $Tl_{1-x}In_xGe_xSe_2$

Зростання значення  $E_U$  для з'єднань із різним складом при збільшенні температури зразків (табл. 1 і рис. 5), очевидно пов'язано зі збільшенням дефектів усередині зразків і може бути описано статичними й динамічними компонентами відповідно.

Згідно із цією моделлю, енергія Урбаха може бути виражена [6]:

$$E_U = k_B \left[ \langle U^2 \rangle_T \right] + k_B \left[ \langle U^2 \rangle_x \right]$$

Перший член являє собою вклад взаємодії електрон / екситон-фотон і другий член пов'язаний із середньоквадратичним відхиленням атомів, викликаним структурним відхиленням від ідеального упорядкування решітки.

Значення  $dE_U/dT$  змінюється для зразків із різним складом. Найбільш ідеальні кристали  $x=0,1$ , із мінімальним значенням  $E_U$  близькі до того, що відбуваються в подвійному селеніді. Найбільший темп росту зі збільшенням температури ( $dE_U/dT = 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}^{-1}$ ), показує, що домінуючу роль в утворенні далекого порядку в кристалах з  $x=0,1$  грають температурні коливання атомів, тобто динамічний компонент. У випадку домінування статичного безпорядку, зумовленого структурними дефектами  $E_U = \text{const}$  [8].

Для всіх досліджених з'єднань, зі збільшенням значення  $x$  збільшується  $E_U$  і зменшується  $dE_U/dT$ , що можна пояснити збільшенням статичного безпорядку, який пов'язаний зі збільшенням концентрації структурних дефектів і зменшенням ролі динамічного безпорядку. Наприклад, для найбільш дефектних зразків (з  $x=0,2$ )  $E_U=82$  меВ (за  $T=300$  К) і  $dE_U/dT=3 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}^{-1}$ .

Температурна залежність енергії Урбаха достатньо добре узгоджується з емпіричною моделлю, яку запропонували Янг та ін. [14], яка враховує до впливу взаємодії електрон / екситон-фонон, електронне спотворення, що веде до вищої енергії фононів за рахунок структурних і композиційних порушень. Імовірніше всього структурні порушення з'являються як результат існування багатьох структурних дефектів, пов'язаних із двовимірною дислокацією або з дефектами упаковки в решітці  $Tl_{1-x}In_xGe_xSe_2$  як це спостерігається в інших шаруватих кристалах. Ці багаточисельні структурні дефекти відбуваються через пустоти й виділення складових елементів і різних форм укладки атомів у шарах. Очевидно, що деякі вклади в ріст  $E_U$  зі збільшенням температури відбуваються через іонізацію дефектних центрів у зразку, яка викликає збільшення флуктуації концентрації таких центрів і частоту можливих коливань випадкових електричних полів у заряджених центрах.

Параметр крутизни  $\sigma$ , який характеризує крутизну прямої поблизу краю поглинання, виражається емпірично залежно від температури:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \left( \frac{2k_B T}{h\nu_p} \right) \tanh \left( \frac{h\nu_p}{2k_B T} \right), \quad (3)$$

де  $\sigma_0$  – є незалежною від температури, але матеріало-залежна від параметра й обернено пропорційна силі зв'язку між електронами-екситонами та протонами;

$h\nu_p$  відповідає середній енергії фононів, що відповідає «хвостам Урбаха-Мартіссена» [11].

Залежність від температури параметра крутизни розраховувано за нахилом «хвостів Урбаха-Мартіссена» за формулою (3) і показано на рис. 6 кружками. Суцільна лінія на рис. 6 представляє найкращу відповідність до експериментальних даних з  $\sigma_{01}=0,66$  і  $h\nu_{p1}=(44\pm 1,0)$  меВ для  $x=0,1$  і  $\sigma_{02}=0,63$  і  $h\nu_{p2}=(99\pm 1,0)$  меВ для  $x=0,2$ .

**Висновок.** З оптичних спектрів поглинання оцінено ширину забороненої зони під час непрямих і прямих дозволених переходів енергія Урбаха й параметр крутизни спектрів оптичного поглинання в температурному інтервалі  $T=100\text{--}300$  К. Температурні залежності параметра крутизни хвостів краю поглинання для обох твердих розчинів засвідчують внесок структурних дефектів, пов'язаних гетеровалентним заміщенням іонів і шаруватістю структури, а також електрон-фононної взаємодії у формування краю оптичного поглинання.

#### Джерела та література

1. Смит Р. Полупроводники / Р. Смит – М. : Изд. иностр. лит., 1982.
2. Abay B. Temperature dependence of the optical energy gap and Urbach-Martienssen's tail in the absorption spectra of the layered semiconductor  $\text{Tl}_2\text{GaInSe}_4$  / B. Abay, H. S. Güder, H. Efeoğlu, Y. K. Yoğurtçu // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2001. – Vol. 62. – P. 747–752.
3. Badr A. M. Spectral photoelectronic features of  $\text{TlInSe}_2$  single crystals/ A. M. Badr and I. M. Ashraf // Phys. Scr. – 2012. – Vol. 86. – 035704 (7pp).
4. Band structure of  $\text{TlGaSe}_2$  / Abdullaeva S. G., Mamedov N. T., Orudzhev G. S. // Physica status solidi (b). – 1983. – T. 119 – № 1. – P. 41–48.
5. Band structure and optical functions of ternary chain  $\text{TlInSe}_2$  / Guseyn Orudzhev, Nazim Mamedov, Hisao Uchiki [at al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2003. – Vol. 64. – P. 1703–1706.
6. Disorder and the Optical-Absorption Edge of Hydrogenated Amorphous Silicon / G. D. Cody, T. Tiedje, B. Abeles [at al.] // Phys. Rev. Lett. – 1981. – Vol. 47. – P. 1480–1483.
7. Haniyas M. P. Electrical and optical properties of as-grown  $\text{TlInS}_2$ ,  $\text{TlGaSe}_2$  and  $\text{TlGaS}_2$  single crystals / M. P. Haniyas et al. // Materials research bulletin. – 1992. – T. 27, № 1. – P. 25–38.
8. Bonch-Bruyevich V. L. Electron Theory of Disordered Semiconductors / V. L. Bonch-Bruyevich [at al.] // Moscow : Nauka, – 1984.
9. Gürbulak B. The Urbach tails and optical absorption in layered semiconductor  $\text{TlGaSe}_2$  and  $\text{TlGaS}_2$  single crystals / Gürbulak B., Duman S., Ateş A. // Czechoslovak Journal of Physics. – 2005. – T. 55, – № 1. – P. 93–103.
10. Gürbulak B. The optical investigation of  $\text{TlGa}_{0,999}\text{Pr}_{0,001}\text{Se}_2$  and  $\text{TlGaSe}_2$  single crystals / B. Gürbulak // Physica B : Condensed Matter. – 2001. – T. 293, – № 3. – P. 289–296.
11. Martienssen W. Über die excitonenbanden der alkalihalogenidkristalle / W. Martienssen // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1957. – T. 2, № 4. – P. 257–267.
12. Moss T. S. Optical Process in Semiconductors / T. S. Moss – London : Butterworths, 1959. – P. 247.
13. Kityk I. V. Nonlinear optical effects in  $\text{In}_2\text{O}_3$ : Sn-glass nano-interfaces / I. V. Kityk et al. // Journal of Optics A : Pure and Applied Optics. – 2003. – T. 5, № 1. – P. 61.
14. Yang Z. Optical absorption study of ion beam synthesized polycrystalline semiconducting  $\text{FeSi}_2$  / Z. Yang et al. // Journal of applied physics. – 1995. – T. 78, № 3. – P. 1958–1963.
15. Photoelectrical properties and the electronic structure of  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$  ( $x = 0, 0,1, 0,2, 0,25$ ) single crystalline alloys / G. E. Davydyuk, O. Y. Khyzhun, A. H. Reshak [at al.] // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2013. – Vol. 15. – P. 6965–6972.
16. Myronchuk G. Spectral and conductivity features of novel ternary  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  crystals / G. Myronchuk, S. Danylychuk, O. V. Parasyuk, L. V. Piskach, A. O. Fedorchuk // Cryst. Res. Technol. – 2013. – Vol. 48. – N 7. – P. 464–475.

17.  $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$  ( $x=0, 0.1, 0.2, 0.25$ ) single-crystalline alloys as promising non-linear optical materials / G. L. Myronchuk, G. E. Davydyuk, O. V. Parasyuk [at al.] // J. Mater. Sci: Mater. Electr. – 2013. – Vol. 24. – N 9. – P. 3555–3563.
18. The Influence of Hydrostatic Pressure on the Electrical Conductivity and Optical Properties of Chain - Layered  $TlInSe_2$  and  $TlInSe_2-TlInS_2$  Solid Solutions / E. Kerimova, S. Mustafaeva, D. Guseinova [at al.] // Phys. Stat. Solid. – 2000. – Vol. 179. – P. 199.
19. The fundamental optical absorption edge of  $TlGaS_{2x}Se_{2(1-x)}$  solid solutions / A. E. Bakhyshov et al. // Physica Status Solidi (b). – 1979. – T. 95, № 2. – P. K121–K125.

**Китык Иван, Мирончук Галина, Замуруева Оксана, Парасюк Олег, Мартынюк Александр.** Исследование спектрального распределения коэффициента поглощения монокристалла  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x = 0,1; 0,2$ ) По исследованиям спектрального распределения коэффициента поглощения оценена ширина запрещенной зоны при косых и прямых разрешенных переходах. Найдены термический коэффициент изменения ширины запрещенной зоны, энергия Урбаха и параметр крутизны спектров оптического поглощения при температурах 100÷300 К для твердых растворов  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x = 0,1; x = 0,2$ ).

**Ключевые слова:** коэффициент поглощения, параметр крутизны, энергия Урбаха.

**Kityk Ivan, Mironchuk Galyna, Zamurueva Oksana, Parasyuk Oleg, Martynyuk Alexander.** Research of the Absorption Spectra in Single Crystals  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x=0,1; 0,2$ ). From the spectral distribution of the absorption coefficient the band gap for direct and indirect allowed transitions is estimated. The temperature dependence of band gap, Urbach's energy and the steepness of optical absorption spectra at temperatures 100÷300 K for solid solutions  $Tl_{1-x}In_{1-x}Ge_xSe_2$  ( $x = 0,1; 0,2$ ) is determined.

**Key words:** optical absorption, band gap, Urbach's energy.

Стаття надійшла до редколегії  
18. 03. 2015 р.

УДК 538.91; 538.951; 620.191.35; 621.793.1

**Андрій Коровицький  
Даріуш Чосік  
Сергій Федосов  
Юрій Качан  
Іван Колядинський  
Віктор Сахарчук**

### **Морфометрія та механічні властивості плівок карбону, отриманих магнетронним депонуванням в атмосфері аргону**

У роботі за допомогою вдосконаленої технології отримання стабільного плазмового розряду в робочій камері ВУП5М здійснено наплення тонких плівок карбону. Досліджено структуру та механічні властивості тонких плівок карбону. Установлено, що за цих технологічних умов утворюються аморфні структури карбону. Виявлено, що ці плівки карбону досить «м'якими» й володіють добрими пружними властивостями.

**Ключові слова:** магнетронне депонування, тонкі плівки карбону, шорсткість, твердість, модуль Юнга.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Технології депонування тонких плівок на сьогодні – одні з найбільш перспективних із погляду отримання нових матеріалів, зокрема наноматеріалів. Крім того, у багатьох сферах промислового виробництва широко використовують сучасні технології одержання тонкопліткових систем. Таке широке використання технології одержання тонких плівок пов'язано з тим, що матеріали у вигляді тонкошарових структур можуть мати суттєво відмінні властивості і залежно від товщини плівки, і порівняно з матеріалом в об'ємній формі.

Один із методів одержання тонких плівок карбону – метод магнетронного депонування на постійному струмі [1]. Магнетронні системи депонування матеріалів достатньо зручні та прості у використанні мають достатньо високу ефективність, однак, володіють низкою недоліків технологічного